



**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 102 40 189.6

Anmeldetag: 28. August 2002

Anmelder/Inhaber: Endress + Hauser Flowtec AG, Reinach,
Basel-Landschaft/CH

Bezeichnung: Verfahren zum Ermitteln eines Massendurchflusses
eines in einer Rohrleitung strömenden Fluids

IPC: G 01 F 1/32

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 25. März 2004
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Verfahren zum Ermitteln eines Massendurchflusses eines in einer Rohrleitung strömenden Fluids

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Ermitteln eines Massendurchflusses eines in einer Rohrleitung strömenden Fluids mittels eines Wirbel-

5 Strömungsmeßgeräts.

Für die Messung von Durchflüssen von in Rohrleitung strömenden Fluiden, insb. von Gas- oder Dampfströmungen im Hochtemperatur- und/oder Hochdruckbereich, werden häufig Wirbel-Strömungsmeßgeräte verwendet.

10 Typische Varianten in Aufbau und Verwendung solcher Wirbel-Strömungsmeßgeräte sind beispielsweise in der US-A 44 48 081, der US-A 45 23 477, der US-A 47 16 770, der US-A 48 07 481, der US-A 48 76 897, der US-A 49 73 062, der US-A 50 60 522, der US-A 51 21 658, US-A 51 52 181, der US-A 53 21 990, der US-A 54 29 001, der US-A 55 69 859, der US-A 58 04
15 740, der US-A 60 03 384, der US-B 61 70 338, der US-B 63 51 999 oder der US-B 63 52 000 beschrieben.

Die Funktionsweise üblicher Wirbel-Strömungsmeßgeräte beruht auf der Ausnutzung von periodischen Druckschwankungen in einer Kármán'schen
20 Wirbelstraße. Diese entsteht bekanntlich, wenn ein Fluid gegen ein Strömungshindernis, insb. einen Staukörper, strömen gelassen wird. Von diesem Staukörper lösen sich auf seiner stromabwärtigen Seite periodisch Wirbel ab, die die erwähnte Wirbelstraße bilden. Die die Wiederholfrequenz mit
25 der die Wirbel gebildet werden ist über einen weiten Reynoldszahlbereich proportional zur Strömungsgeschwindigkeit des Fluids, wodurch mittels solcher Wirbel-Strömungsmeßgeräte der Volumendurchfluß praktisch direkt gemessen werden kann.

- Ein Wirbel-Strömungsmeßgerät der beschriebenen Art umfaßt üblicherweise ein Meßrohr vorgegebener Länge in dessen Lumen, vorzugsweise entlang eines Durchmessers des Meßrohrs, der erwähnte Staukörper angeordnet ist. Das Meßrohr ist einlaßseitig und auslaßseitig in eine das zu messende Fluid führende Rohrleitung eingesetzt, so daß im Betrieb des Wirbel-Strömungsmeßgerät das Fluid durch das ein- und auslaßseitig mit der Rohrleitung kommunizierende Meßrohr hindurchdurchströmen gelassen und dabei gegen den Staukörper geführt werden.
- 10 Charakteristisch für solche Wirbel erzeugenden Staukörper ist, daß sie auf ihrer stromaufwärtigen Seite eine weitgehend ebene Anströmfläche aufweisen, die unter Bildung wenigstens zweier möglichst scharfer Abreiß- oder auch Abstreifkanten seitlich abrupt enden gelassen wird. Ausgehend von den Abreißkanten verjüngen sich die Staukörper dann auf der stromabwärtigen Seite.
- 15 Dies kann z.B. stetig gleichmäßig oder, wie z.B. in der US-A 55 69 859 gezeigt, auch stufenweise erfolgen. Neben den beiden Abreißkanten kann der Staukörper auch noch weitere Abreißkanten aufweisen.
- 20 Schließlich sitzt wenigstens ein Sensorelement im Staukörper oder ist stromabwärts des Staukörpers von innen an der Wand des Meßrohrs oder von außen an der Wand oder innerhalb der Wand angeordnet. Die mit den Wirbeln verbundenen Druckschwankungen werden mittels des im Staukörper selbst oder mittels eines stromabwärts von ihm angeordneten Sensorelements, das z. B. kapazitiv, induktiv oder piezoelektrisch wirken, aber auch ein
- 25 Ultraschallsensor sein kann, erfaßt und in elektrisch verarbeitbare Signale umgewandelt. Diese Signale haben eine Frequenz, die direkt proportional zum Volumendurchfluß im Meßrohr ist.
- 30 Die vom Sensorelement erzeugten elektrischen Signale werden von einer entsprechenden Auswerte-Elektronik des Wirbel-Strömungsmeßgerät

verarbeitet und können z.B. vor Ort zur Anzeige gebracht und/oder in übergeordneten Auswerte-Einheiten weiterverarbeitet werden.

Wie bereits erwähnt, kann mittels derartiger Wirbel-Strömungsmeßgeräte eine
5 Strömungsgeschwindigkeit des zu messenden Fluids und/oder davon abgeleitet
der Volumendurchfluß praktisch direkt gemessen werden. Ausgehend vom
gemessenen Volumendurchfluß und einer zu diesem simultan oder auch
nachträglich ermittelten momentanen Dichte des Fluids kann, wie z.B. auch in
der WO-A 95/11 425, der US-A 48 76 897, der US-A 49 41 361, der US-A 51 21
10 658 oder der US-A 54 29 001 beschrieben, ein momentaner Massendurchfluß
indirekt ermittelt werden. Wie in der US-A 44 48 081, der US-A 45 23 477, der
US-A 48 07 481, der US-A 49 73 062, der US-A 50 60 522, der US-A 51 52
181, der US-A 54 29 001, der US-A 58 04 740 oder der US-B 61 70 338
gezeigt, ist es ferner auch möglich, mittels solcher Wirbel-Strömungsmeßgeräte
15 den Massendurchfluß ausgehend vom gemessenen Volumendurchfluß und
einem in Strömungsrichtung im Fluid wirkenden dynamischen Druck zu
ermitteln.

Insbesondere in der WO-A 95/11 425, der US-A 54 29 001 oder der US-B 61 70
20 338 wird vorgeschlagen, den dynamischen Druck anhand eines, insb. zeitlich
gemittelten, Amplitudenverlaufs eines sich mit der Wiederholfrequenz der
Wirbel periodisch ändernden Wirbelmeßsignals zu bestimmen, daß mit einem in
der Wirbelstraße örtlich erfaßten zeitlichen Druckverlauf korrespondiert.
Untersuchungen haben jedoch ergeben, daß der Amplitudenverlauf oder auch
25 der mittlere Amplitudenverlauf eines derartigen Wirbelmeßsignals praktisch nur
bei einer stationären Strömung proportional zum dynamischen Druck ist.
Überdies wird z.B. in der US-A 44 48 081 vorgeschlagen, den dynamischen
Druck anhand zeitlicher Amplitudenverläufe von elastischen Verformungen des
angeströmten Staukörpers zu bestimmen.

Im Gegensatz dazu wird z.B. bei dem in der US-A 51 52 181 beschrieben Wirbel-Strömungsmeßgerät der dynamische Druck zum Zwecke der Massendurchflußmessung in einem weitgehend wirbelfreien Bereich des strömenden Fluids erfaßt, und zwar durch eine im Lumen des Meßrohrs
5 stromaufwärts des Staukörpers angeordnete zusätzliche Drucksensoren.

Ausgehend von vorgenanntem Stand der Technik ist es eine Aufgabe der Erfindung, die Messung des Massedurchflusses mittels Wirbel-Strömungsmeßgeräten dahingehend zu verbessern, daß sie auch bei
10 instationärer, insb. auch gestörter, Strömung eine hohe Genauigkeit aufweist. Ferner soll die verbesserte Messung auch mit herkömmlichen Wirbel-Strömungsaufnehmer-Typen durchführbar sein.

Zur Lösung der Aufgabe besteht die Erfindung in einem Verfahren zum
15 Ermitteln eines Massendurchflusses eines in einer Rohrleitung strömenden Fluids, welches Verfahren folgende Schritte umfaßt:

- Erzeugen von, insb. Kármánschen, Wirbeln im strömenden Fluid mittels eines von Fluid umströmten Staukörpers und Ermitteln einer Wiederholfrequenz mit der die Wirbel erzeugt werden,
- 20 - Erzeugen eines Strömungsmeßwerts, der einen Volumenstrom oder eine Strömungsgeschwindigkeit repräsentiert, anhand der ermittelten Wiederholfrequenz,
- örtliches Erfassen eines im strömenden Fluid wirkenden ersten Drucks an einem ersten Meßpunkt und eines im strömenden Fluid wirkenden zweiten
25 Drucks an einem zweiten Meßpunkt,
 - wobei beide Meßpunkte in Strömungsrichtung voneinander beabstandet sind und
 - wobei unter Einwirkung der erzeugten Wirbel wenigstens einer der erfaßten Drücke zumindest zeitweise sich mit der Wiederholfrequenz periodisch
30 ändern gelassen wird,

28.08.2002

- Erzeugen eines Druckmeßwerts, der einen im zeitlichen Mittel in Strömungsrichtung wirkenden mittleren dynamischen Druck repräsentiert, unter Verwendung des erfaßten ersten Drucks und des erfaßten zweiten Drucks, sowie
- 5 - Erzeugen eines den Massendurchfluß repräsentierenden Massendurchflußmeßwerts unter Verwendung des Druckmeßwerts und des Strömungsmeßwerts.

10 Nach einer bevorzugten ersten Ausgestaltung des Verfahrens der Erfindung wird die Wiederholfrequenz mit der die Wirbel erzeugt werden anhand wenigstens eines der erfaßten Drücke ermittelt.

15 Nach einer bevorzugten zweiten Ausgestaltung des Verfahrens der Erfindung ist wenigstens einer der Meßpunkte am Staukörper oder innerhalb desselben angeordnet.

20 Nach einer bevorzugten dritten Ausgestaltung des Verfahrens der Erfindung wird zur Erzeugen des Druckmeßwerts eine Druckdifferenz zwischen den beiden örtlich erfaßten Drücken ermittelt.

25 Nach einer bevorzugten vierten Ausgestaltung des Verfahrens der Erfindung wird zur Ermittlung der Druckdifferenz ein innerhalb des Staukörpers angeordneter Differenzdrucksensor, insb. simultan, mit dem ersten und dem zweiten Druck beaufschlagt.

Nach einer bevorzugten fünften Ausgestaltung des Verfahrens der Erfindung wird abgeleitet von den örtlich erfaßten Drücken ein die Druckdifferenz repräsentierendes Druckdifferenzsignal erzeugt.

Nach einer bevorzugten sechsten Ausgestaltung des Verfahrens der Erfindung wird zur Erzeugung des Druckmeßwerts das Druckdifferenzsignal tiefpaßgefiltert.

- 5 Nach einer bevorzugten siebenten Ausgestaltung des Verfahrens der Erfindung wird zur Erzeugung des Druckmeßwerts das Druckdifferenzsignal digitalisiert wird.

- 10 Nach einer bevorzugten achten Ausgestaltung des Verfahrens der Erfindung werden der Druckmeßwert und/oder Strömungsmeßwert anhand einer Spektralanalyse des Druckdifferenzsignals ermittelt.

- 15 Nach einer bevorzugten neunten Ausgestaltung des Verfahrens der Erfindung ist der erste örtlich erfaßte Druck ein in Strömungsrichtung wirkender totaler Druck.

Nach einer bevorzugten zehnten Ausgestaltung des Verfahrens der Erfindung ist der zweite örtlich erfaßte Druck ein im Fluid wirkender statischer Druck.

- 20 Ein Grundgedanke der Erfindung besteht darin, den für die Massendurchflußmessung erforderlichen dynamischen Druck zum einen anhand eines innerhalb des Meßrohrlumens punktuell erfaßten Druckverlaufs zu bestimmen, der sich zumindest teilweise über einen Wirkungsbereich der am
- 25 Staukörper erzeugten Wirbel erstreckt, und zum anderen die so erfaßten Drücke nicht nur von allfällig überlagerten Störungen zu befreien, sondern zeitlich zu mitteln und somit einen Gleichanteil des veränderlichen Druckverlaufs zu bestimmen.

- 30 Die Erfindung beruht insb. auch auf der überraschenden Erkenntnis, daß nicht eine Amplitude des im wesentlichen periodisch veränderlichen Druckverlaufs,

sondern dessen zeitlicher Mittelwert die für die Massendurchflußmessung erforderliche Information trägt und daß der vorgenannte Druckverlauf bereits anhand zweier Drücke hinreichend genau geschätzt werden kann, die im Fluid an voneinander in Strömungsrichtung beabstandeten, jedoch ansonstens
5 praktisch beliebig anordenbaren Meßpunkten erfaßt worden sind.

Dies hat u.a. auch den Vorteil, daß sämtliche für das erfindungsgemäße Verfahren erforderlichen Meßpunkte für die zu erfassenden Drücke direkt am Staukörper angeordnet sein können. Somit können z.B. auch innerhalb des
10 Staukörpers angeordnete, druckempfindliche Sensorelemente zum Erfassen der Drücke dienen. Außerdem können so auch die für die Volumendurchflußmessung erforderliche Wirbel-Wiederholfrequenz, mittels herkömmlicher, beispielsweise innerhalb oder außerhalb des Staukörpers angeordneten, Sensorelemente detektiert werden.

15

Fig. 1 zeigt schematisch und teilweise aufgeschnitten ein Ausführungsbeispiel für einen erfindungsgemäßen Wirbelaufnehmer,

20 Fig. 2 zeigt schematisch und teilweise aufgeschnitten Ausführungsbeispiel für eine Sensoranordnung des Wirbelaufnehmers gemäß Fig. 1,

Fig. 3 zeigt eine Stirnansicht der Sensoranordnung gemäß Fig. 2,

25

Fig. 4 bis 6 zeigen jeweils ein Ausführungsbeispiel für einen Staukörper des des Wirbelaufnehmers gemäß Fig. 1 und

Fig. 7 ein Ausführungsbeispiel für eine elektronische
30 Meßwandlerschaltung des Wirbelströmungsmessers gemäß Fig. 1.

In den Fig. 1 bis 3 ist der Aufbau eines für das Verfahren der Erfindung geeigneten Wirbelaufnehmers 1 schematisch dargestellt.

- 5 Der Wirbelaufnehmer 1 umfaßt ein, hier im Querschnitt dargestelltes, Messrohr 11 das, in die Rohrleitung eingefügt, im Betrieb vom zu messenden Fluid, beispielsweise einer Flüssigkeit, einem Gas oder einem Dampf, durchströmt wird. Das Messrohr 11 besteht üblicherweise aus Metall, wie z. B. Edelstahl oder Gußeisen; es kann aber z.B. auch ein geeigneter Hart-Kunststoff als
- 10 Material für das Messrohr 11 dienen.

- Das Messrohr 11 hat eine Achse 3, eine Innenfläche 4, ein Einlaufende 5 und ein Auslaufende 6. Somit ist die Strömungsrichtung des Fluids festgelegt; in den Fig. 1 und 2 ist dies die Richtung von links nach rechts, wie durch den Pfeil 31 veranschaulicht ist bzw. in der Darstellung von Fig. 1 ist dies senkrecht zur
- 15 Zeichenebene durch jenen vom Meßrohr 11 gebildeten Strömungskanal 12.

- Das Messrohr 11 hat ferner eine lichte Weite w und eine dazu passende Stärke d seiner Wand. Diese beiden Werte sind von der Nennweite und dem
- 20 zulässigen Druck des Fluids der produzierten Wirbelaufnehmer abhängig. Wenn das Messrohr 11 einen kreisförmigen Querschnitt hat, wie in den Fig. 1 und 2 vorausgesetzt ist, ist die lichte Weite w der Durchmesser des Lumens des Messrohrs 11. Mit dem Lumen bildet das Einlaufende eine Umrißlinie 51 ; diese ist ein üblicherweise Kreis, da das Einlaufende 5 eben ist und in einer
- 25 Ebene senkrecht zur Achse 3 liegt.

- An der in Fig. 1 oben liegenden Seite des Meßrohres 11 ist eine Abflachung 13 gebildet, von der eine radiale Bohrung 14 in das Innere des Meßrohres geführt ist. Auf der Abflachung 13 ist eine rohrförmige Gehäusestütze 15 befestigt, die
- 30 an dem dem Meßrohr 11 entgegengesetzten Ende ein Elektronikgehäuse 16 trägt.

Im Innern des Meßrohres 11 ist ein Staukörper 20 angeordnet, der sich diametral über einen Durchmesser des Strömungskanals 12 erstreckt und, wie in der Fig. 1 und 2 dargestellt, dabei entlang einer ersten Fixierungszone 71 und einer zweiten Fixierungszone 72 mit der Innenfläche 4 der Wand des Messrohrs 11 jeweils mechanisch fest verbunden ist. Diese mechanisch feste Verbindung wird bei den gängigen Metall-Meßrohren üblicherweise durch Schweißen hergestellt.

10 Der Staukörper 20 so ausgebildet, daß er in dem Strömungsmedium Karman'sche Wirbel erzeugt.

Dementsprechend ist der Staukörper 20, wie bei derartigen Wirbelaufnehmern üblich, als ein gerades Prisma mit einer Prismaachse und einer Querschnittsfläche ausgebildet, die eine vom Hersteller zu wählende geometrischen Form aufweist und senkrecht zur Prismaachse ist. In den Fig. 1 und 2 ist diese geometrische Form der Querschnittsfläche im wesentlichen ein gleichschenkliges Dreieck oder Trapez. Anstatt eines geraden Prismas können aber z.B. auch gerade Voll- oder Teilzylinder oder z.B. auch Stäbe mit T-förmige Querschnittsfläche als Staukörper verwendet werden.

Der Staukörper 20 ist so innerhalb des Meßrohres 11 angeordnet, daß eine als Anströmfläche 73 dienende Grundfläche im wesentlichen quer zur Fluidströmung ausgerichtet ist, wobei Anströmfläche 73 seitlich unter Bildung einer ersten und einer zweiten Abreisskante 74, 75 abgeschlossen ist.

Im Betrieb, wenn das zu messende Fluid gegen die Anströmfläche 73 des Staukörpers 20 strömen gelassen wird, werden an den beiden Abreisskanten 74, 75 wiederholt Wirbel erzeugt, deren zeitbezogene Abriss-Häufigkeit oder auch Wiederholfrequenz in der bekannten Weise über die momentane Strouhal-Zahl, die wiederum über einen großen Reynolds-Zahlenbereich nahezu

konstant ist, mit dem momentanen Volumendurchfluß korreliert ist. Dadurch, daß an jeder Abrisskante abwechselnd Wirbel abreißen und vom strömenden Fluid mitgenommen werden, kann sich überdies stromabwärts vom Staukörper 20 eine Kármán'sche Wirbelstrasse oder zwei parallele Wirbelstraßen, wobei die Wirbel der einen Wirbelstraße gegen die Wirbel der anderen Wirbelstraße versetzt sind, im Fluid ausbilden.

Aufgrund der am Staukörper 20 erzeugten Wirbel können im Bereich der, ggf. auch stromaufwärts des Staukörpers 20 angeordneten, Meßpunkte lokal jeweils, insb. totale, statische oder dynamische, Drücke im Fluid örtlich erfaßt werden, die sich mit der Wiederholffrequenz der Wirbel ändern.

Zum örtlichen Erfassen von im strömenden Fluid wirkenden Drücken, jedenfalls aber zum örtlichen Erfassen eines im Bereich des Staukörpers 20 wirkenden, zeitlich veränderlichen ersten und zweiten Drucks, umfaßt der Wirbelaufnehmer 1 eine druckempfindliche Sensoranordnung 8. Mit der Sensoranordnung 8 können bevorzugt gleichzeitig auch die von den Wirbeln lokal erzeugten Druckschwankungen im Fluid erfaßt und in entsprechender Weise in wenigstens ein elektrisches Meßsignal umgeformt werden, das sowohl eine Signalamplitude aufweist, die mit einem in Strömungsrichtung wirkenden dynamischen Druck korrespondiert als auch eine Signalfrequenz, die der Wiederholffrequenz der Wirbel entspricht.

Im Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 1 ist die Sensoranordnung 8 direkt im Staukörper angeordnet. Zur Aufnahme der Sensoranordnung ist in dem Staukörper 20 ein axialer Hohlraum 21 ausgebildet, der sich von dem in Fig. 1 oben liegenden Ende des Staukörpers über den größeren Teil von dessen Länge erstreckt. Innerhalb des Staukörpers 20 ist der Hohlraum 21 so angelegt, daß er im wesentlichen coaxial zu der Bohrung 14 verläuft.

Der Hohlraum 21 ist vorzugsweise zylindrisch und hat den gleichen Innendurchmesser wie die Bohrung 14. Darüberhinaus steht der Hohlraum 21 mit dem Strömungskanal 12 des Meßrohres 11 über wenigstens ein Paar Durchlässe 22, 23 in Verbindung.

5

Im hier gezeigten Ausführungsbeispiel ist der Durchlaß 22 quer zur Strömungsrichtung durch den Staukörper 20 geführt, so daß ein mit dessen lumenseitigen Austrittsöffnung definierter erster Meßpunkt M_1 stromabwärts der Abreißkante 74 gebildet ist. Dementsprechend wirkt auf dann auf diesen ersten Meßpunkt M_1 ein erster Druck p_1 , der zumindest anteilig von einem dort herrschenden statischen Druck abhängig ist.

10

Bei einer weiteren bevorzugten Variante der Erfindung verläuft der Durchlaß 23, wie in der Fig. 4 oder Fig. 5 schematisch dargestellt, so im Staukörper 20, daß ein mit dessen lumenseitiger Austrittsöffnung definierter zweiter Meßpunkt M_2 innerhalb der Anströmfläche 73 ausgebildet ist. Dadurch wirkt auf diesen zweiten Meßpunkt M_2 ein zweiter Druck p_2 , der sowohl von einem dort herrschendem statischen Druck als auch von einem dort in Strömungsrichtung wirkenden dynamischen abhängig ist und somit praktisch einem Gesamt- oder

15

20

Nach einer anderen bevorzugten Variante der Erfindung verläuft der Durchlaß 23, wie in der Fig. 6 schematisch dargestellt, so im Staukörper 20, daß der mit dessen lumenseitigen Austrittsöffnung definierte zweite Meßpunkt M_2 ebenfalls stromabwärts der Abreißkante 74, und zwar in Strömungsrichtung gesehen vom ersten Meßpunkt entfernt ausgebildet ist.

25

Es sei noch erwähnt, daß die Durchlässe 22, 23 vorzugsweise etwa auf gleicher Höhe liegen, z.B. auf der halben Höhe des Staukörpers 20; falls erforderlich, können die wenigstens zwei Durchlässe 22, 23 aber auch in der Höhe, hier also entlang des Staukörpers 20, gegeneinander versetzt angeordnet sein.

30

Außerdem können neben den beiden Durchlässe 22, 23 z.B. auch weitere Durchlässe im Staukörper 20 eingelassen sein, beispielsweise am oberen Ende des Staukörpers 20 unmittelbar an der Wand des Meßrohres 11 oder am unteren Ende des Hohlraums 21.

5

Im in den Fig. 1 bis 3 gezeigten Ausführungsbeispiel umfaßt die Sensoranordnung ein druckempfindliches bzw. auf Druckschwankungen reagierendes Sensorelement 30, daß durch die Bohrung 14 in den Hohlraum 21 ragt, wo er sich fast bis zu der Trennwand 29 erstreckt. Das Sensorelement 30 wird von einem Flansch 31 getragen, der mittels Schrauben 32 auf der Abflachung 13 befestigt ist.

Das Sensorelement 30 ist in der Schnittansicht von Fig. 2 in näheren Einzelheiten dargestellt. Er besteht aus zwei Bauteilen. Das erste Bauteil ist eine rohrförmige Sensorhülse 33, die am einen Ende mit dem Flansch 31 verbunden ist und an dem entgegengesetzten Ende durch eine Stirnwand 34 dicht verschlossen ist. Der Flansch 31 hat eine Mittelöffnung 35, die coaxial zu der Sensorhülse 33 liegt und deren Durchmesser gleich dem Innendurchmesser der Sensorhülse 33 ist. Ferner hat der Flansch 31 mehrere um den Umfang verteilte Bohrungen 36 für die Durchführung der Schrauben 32, mit denen er auf der Abflachung 13 (Fig. 1) befestigt wird. Die Sensorhülse 33 kann zusammen mit der Stirnwand 34 in einem Stück mit dem Flansch 31 aus dem gleichen Material geformt sein, beispielsweise aus Stahl.

Das zweite Bauteil des Sensorelements 30 ist ein Elektrodenhalter 40, der durch die Mittelöffnung 35 des Flansches 31 in das Innere der Sensorhülse 33 ragt. Der Elektrodenhalter 40 besteht aus einem Rohr 41, das mit einem zweiten Flansch 42 verbunden ist und vorzugsweise in einem Stück mit dem Flansch 42 hergestellt ist, beispielsweise gleichfalls aus Stahl. Der Flansch 42 ist mittels Schrauben 43 auf der Oberseite des Flansches 31 befestigt, so daß

der Elektrodenhalter 34 durch die Mittelöffnung 35 in das Innere der Sensorhülse 33 ragt, wo er sich bis nahe zu der Stirnwand 34 erstreckt.

Das Rohr 41 des Elektrodenhalters 34 hat drei Abschnitte unterschiedlichen Durchmessers. Ein erster Abschnitt 41a, der in der Mittelöffnung 35 des Flansches 31 sitzt, hat einen Außendurchmesser, der gleich dem Durchmesser der Mittelöffnung 35 ist, wodurch ein fester Sitz und eine genaue Positionierung des Elektrodenhalters gewährleistet ist. Der Außendurchmesser eines zweiten Abschnitts 41b, der den größten Teil der Länge des Elektrodenhalters ausmacht, ist etwas kleiner als der Innendurchmesser der Sensorhülse 33, so daß rings um den Umfang ein schmaler ringförmiger Spalt zwischen dem Abschnitt 41b und der Sensorhülse 33 besteht. Der Endabschnitt 41c des Rohres 41 schließt sich über eine nach innen einspringende Schulter 44 an den mittleren Abschnitt 41b an und hat einen wesentlich kleineren Durchmesser. Dieser Endabschnitt 41c trägt eine Isolierhülse 45, deren Außendurchmesser etwas kleiner als der Außendurchmesser des mittleren Abschnitts 41b ist. Die Isolierhülse 45 kann beispielsweise aus Keramik bestehen. Auf der Isolierhülse 45 sind zwei Kondensatorelektroden 46 und 47 angebracht, die den größten Teil der Umfangsfläche und der unteren Stirnfläche der Isolierhülse 45 bedecken, aber an zwei einander diametral gegenüberliegenden Stellen durch Spalte 48, 49 mechanisch und elektrisch voneinander getrennt sind, wie die untere Stirnansicht von Fig. 3 zeigt. Die Kondensatorelektroden 46, 47 können durch eine auf die Isolierhülse 45 aufgebrachte Metallisierung oder aus aufgeklebten Metallfolien gebildet sein. Die Dicken der Isolierhülse 45 und der Kondensatorelektroden 46, 47 sind so bemessen, daß zwischen den Kondensatorelektroden 46, 47 und der Innenfläche der Sensorhülse 33 rings um den Umfang ein ringförmiger Spalt 50 von geringer Spaltbreite besteht.

Jede Kondensatorelektrode 46, 47 bildet mit dem gegenüberliegenden, als Gegenelektrode wirkenden Abschnitt der Sensorhülse 33 einen Kondensator, dessen Dielektrikum Luft ist. Die Kapazität jedes dieser Kondensatoren ist zu

der Flächenausdehnung der Kondensatorelektrode proportional und zu der Spaltbreite zwischen der Kondensatorelektrode und der Sensorhülse umgekehrt proportional.

- 5 An den die untere Stirnfläche der Isolierhülse 45 bedeckenden Abschnitten der Kondensatorelektroden 46 und 47 sind die Innenleiter von zwei abgeschirmten Kabeln 51, 52 angelötet, die durch das hohle Innere des Elektrodenhalters 40 und durch die rohrförmige Gehäusestütze 15 geführt sind und die Kondensatorelektroden 46, 47 mit der im Schaltungsgehäuse 16 untergebrachten elektronischen Auswerteschaltung des Wirbelströmungsmessers verbinden.
- 10

- Wie Fig. 1 zeigt, ist der Außendurchmesser der Sensorhülse 33 des Sensorelements 30 etwas kleiner als der Innendurchmesser des Hohlraums 21 im Staukörper 20, so daß die Sensorhülse 33 allseitig im Abstand von der Wand des Hohlraums 21 liegt. Es besteht somit in dem Hohlraum 21 rings um die Sensorhülse 33 ein freier Raum, der über die Durchlässe 22 und 27 mit dem Strömungsmedium gefüllt ist, das durch den Strömungskanal 12 des Meßrohres 11 fließt. Das Sensorelement 30 ist so in dem Staukörper 20 eingebaut, daß die Kondensatorelektroden 46, 47 symmetrisch in bezug auf die axiale Mittelebene liegen, die die Achsen des Meßrohres 11 und des Staukörpers 20 enthält und in Fig. 3 durch die Linie X-X angedeutet ist.
- 15
- 20

- Der beschriebene Aufbau des Wirbelströmungsmessers 10 ergibt die folgende Funktionsweise:
- 25

- Jeder der beiden Bestandteile des Sensorelements 30, nämlich die Sensorhülse 33 und der Elektrodenhalter 40, stellt einen langgestreckten Schwingkörper dar, der am einen Ende gehalten ist und dessen freies Ende durch die Einwirkung äußerer Kräfte aus der in Fig. 2 dargestellten Ruhestellung quer zu seiner Längsrichtung ausgelenkt werden kann.
- 30

Wenn durch das Meßrohr 11 ein Strömungsmedium fließt und sich die beiden Karman'schen Wirbelstraßen am Staukörper 20 bilden, entstehen seitlich des Staukörpers periodische, zueinander außerphasige Druckschwankungen, die durch die Durchlässe 22 und 23 in den Hohlraum 21 übertragen werden und auf die Sensorhülse 33 einwirken. Unter dem Einfluß der von diesen Wirbel-Druckschwankungen ausgeübten Kräfte wird die Sensorhülse 33 quer zu ihrer Längsrichtung und quer zur Strömungsrichtung abwechselnd in entgegengesetzten Richtungen ausgelenkt. Da die Sensorhülse 33 am oberen Ende fest eingespannt ist, besteht die Auslenkung in einer Abbiegung, so daß die Sensorhülse unter der Einwirkung der Wirbel-Druckschwankungen Biegeschwingungen ausführt, deren Frequenz gleich der Frequenz der Druckschwankungen ist. Die Biegeschwingungs-Eigenresonanzfrequenz der Sensorhülse 33 ist sehr viel höher als die höchste vorkommende Frequenz der Wirbel-Druckschwankungen, so daß die Biegeschwingungen der Sensorhülse 33 unterkritisch angeregt werden und nach Frequenz und Phase genau den Wirbel-Druckschwankungen folgen. Die Amplituden der Biegeschwingungen sind sehr klein, und die Bestandteile des Sensorelements 30 sind so ausgebildet und bemessen, daß die Sensorhülse 33 bei den größten vorkommenden Schwingungsamplituden weder an der Wand des Hohlraums 21 noch am Elektrodenhalter 40 anschlägt.

Die oberen Durchlässe 24, 25 und die unteren Durchlässe 26, 27 im Staukörper 20 erlauben eine freie Zirkulation des Strömungsmediums zwischen dem Hohlraum 21 und dem Strömungskanal 12, so daß das Strömungsmedium ungehindert den Biegeschwingungen der Sensorhülse 33 ausweichen und folgend kann. Die Trennwand 29 zwischen den unteren Durchlässen 26 und 27 verhindert einen direkten Druckausgleich um das untere Ende der Sensorhülse herum.

Der im Innern der dicht verschlossenen Sensorhülse 33 angeordnete Elektrodenhalter 40 steht mit dem Strömungsmedium nicht in Kontakt und ist

daher von dessen Druckschwankungen vollständig entkoppelt. Der Elektrodenhalter 40 wird daher durch die Wirbel-Druckschwankungen nicht in Biegeschwingungen versetzt, sondern bleibt in Ruhe. Demzufolge bewegt sich das freie Ende der Sensorhülse 33 unter dem Einfluß der Wirbel-

- 5 Druckschwankungen relativ zu dem feststehenden freien Ende des Elektrodenhalters, wie in Fig. 2 durch den Doppelpfeil F angedeutet ist. Bei dieser Relativbewegung verändert sich die Breite des Luftspalts 50 zwischen den Elektroden 46, 47 und der gegenüberliegenden Wand der Sensorhülse 33 gegensinnig: Wenn der Abstand zwischen der Sensorhülse 33 und der
- 10 Elektrode 46 abnimmt, wird gleichzeitig der Abstand zwischen der Sensorhülse 33 und der Elektrode 47 größer, und umgekehrt. Demzufolge ändern sich auch die Kapazitätswerte der von den beiden Elektroden 46, 47 und der Sensorhülse 33 gebildeten Kondensatoren gegensinnig mit der Frequenz der Wirbel-
- Druckschwankungen.

15

Es sei an dieser Stelle noch erwähnt, daß die Sensoranordnung anstelle des hier gezeigten Sensorelements 30, z.B. auch mit den beiden Meßpunkten kommunizierende Druckmeßzellen umfassen kann. Insbesondere bei Verwendung solcher Druckmeßzellen können die Meßpunkte aber z.B. auch an

20 der Rohrwand angeordnet sein, d.h. die Druckmeßzellen können voneinander beabstandet von außen an das Meßrohr angesetzt werden. Darüberhinaus können zur Ermittlung der Wirbelfrequenz z.B. auch paddelförmige, Schwingkörper verwendet werden, die in der dem Fachmann bekannten Weise innerhalb der Wirbelstraße, also stromab vom Staukörper, angeordnet sind.

25

- Die im Elektronikgehäuse 16 untergebrachte elektronische Meßwandlerschaltung des Wirbelströmungsmessers kann daher aufgrund dieser Kapazitätsänderungen elektrische, insb. sich periodisch ändernde, Meßsignale erzeugen, die zum einen für die Frequenz der Wirbel-
- 30 Druckschwankungen und somit auch für die Strömungsgeschwindigkeit im

Meßrohr 11 und/oder zum anderen für den dynamischen Druck bzw. dessen zeitliche Änderung kennzeichnend sind.

Die elektronische Meßwandlerschaltung ist vorzugsweise so ausgebildet, daß
5 sie ein Meßsignal U_D erzeugt, das von der Differenz der beiden Meßkapazitäten C_{M1} , C_{M2} des Wirbelsensors abhängt und somit als ein die Differenz zwischen den an den Meßpunkten 22, 23 erfaßten Drücken p_1 , p_2 repräsentierendes Differenzdrucksignal U_D dienen kann. Zum Zwecke einer Weiterverarbeitung wird das so erzeugte Differenzdrucksignal U_D anschließend über eine Tiefpaß-
10 Schaltung TP geführt.

Da sich die beiden Kapazitäten gegensinnig ändern, entspricht das Meßsignal dem doppelten Wert der Kapazitätsänderung, während die gleich großen Grundkapazitäten aus dem Meßsignal herausfallen. Dies ermöglicht einerseits
15 eine sehr genaue und empfindliche Detektion der Kapazitätsänderungen und andererseits die Eliminierung des Einflusses weiterer Störgrößen, die die Funktion des Wirbelströmungsmessers beeinträchtigen können. Dies gilt insbesondere für die Temperatur des Fluids.

20 Der Wirbelströmungsmesser kann unter sehr verschiedenen Temperaturverhältnissen zum Einsatz kommen, und auch innerhalb des gleichen Einsatzgebietes kann sich die Temperatur des Fluids in weiten Bereichen ändern. Temperaturänderungen wirken sich infolge der Wärmeausdehnungskoeffizienten der für die verschiedenen Bestandteile
25 verwendeten Materialien auf die Abmessungen der Bestandteile des Wirbelsensors aus. Wenn die Bestandteile gleiche Wärmeausdehnungskoeffizienten haben, ändern sich ihre Abmessungen im gleichen Verhältnis, so daß sich für die beiden Kapazitäten keine Änderungen ergeben. Bei unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten der
30 Bestandteile haben unterschiedliche Längenänderungen der Sensorhülse des Elektrodenhalters keinen Einfluß auf die beiden Kapazitäten. Unterschiedliche

Durchmesseränderungen dieser Teile können zwar zu Änderungen der Grundkapazitäten führen, doch ist dies für die Signalauswertung ohne Bedeutung, weil die Grundkapazitäten bei der Bildung des Differenzsignals herausfallen; die allein erfaßte Kapazitätsdifferenz bleibt von
5 temperaturbedingten Änderungen unbeeinflußt.

In diesem Zusammenhang ist auch hervorzuheben, daß das beschriebene Ausführungsbeispiel des Wirbelsensors wegen der zylindrischen Form der Sensorhülse eine besonders gute Druckfestigkeit aufweist und sich daher für
10 Anwendungen eignet, bei denen hohe Betriebsdrücke oder große Betriebsdruckschwankungen auftreten.

Fig. 6 zeigt eine Kapazitätsmeßschaltung, die sich besonders gut als Eingangsstufe der elektronischen Auswerteschaltung des beschriebenen Wirbelströmungsmesser eignet. Diese Kapazitätsmeßschaltung ist nach dem
15 bekannten Prinzip der "geschalteten Kondensatoren" (switched capacitors) ausgebildet und kann z.B. in der in der US-A 47 16 770 beschriebenen Weise betrieben werden. Sie ermöglicht eine sehr empfindliche und genaue Messung von Kapazitätsänderungen, auch wenn diese sehr klein sind.
20 Zusätzlich ist die Kapazitätsmeßschaltung von Fig. 5 so ausgebildet, daß sie auf sehr einfache Weise eine aktive Schirmung ermöglicht.

Wie bereits erwähnt, werden die von der Sensoranordnung 8 erzeugten elektrischen Signale von der Auswerte-Elektronik verarbeitet und in üblicher
25 Weise angezeigt und/oder weitergeleitet werden. Dies kann in vorteilhafter Weise z.B. durch Digitalisierung der von der Meßwandlerschaltung gelieferten elektrischen Signale und eine Weiterverarbeitung mittels eines im Elektronikgehäuse 16 untergebrachten Mikrocomputers μP erfolgen, wobei die bereits erwähnte Tiefpaß-Schaltung TP als Anti-Aliasing-Filter dienen kann.

Die Ermittlung des Massendurchflusses des strömenden Fluids erfolgt nunmehr dadurch, daß ein im Fluid wirkender dynamischer Druck ermittelt und auf einen Volumenstrom oder eine Strömungsgeschwindigkeit des strömenden Fluids normiert wird.

5

Erfindungsgemäß wird zur Ermittlung des Massendurchflusses unter Verwendung des Meßsignals U_D ein Druckmeßwert X_p gebildet, der einen im zeitlichen Mittel in Strömungsrichtung wirkenden mittleren dynamischen Druck repräsentiert. Darüberhinaus wird, basierend auf der bereits erwähnten

10

Strouhal-Funktion, anhand der gemessenen Wiederholfrequenz und entsprechender Kalibrierfaktoren in der dem Fachmann bekannter Weise ein Strömungsmeßwert X_v ermittelt. In vorteilhafter Weise kann die

Wiederholfrequenz ebenfalls direkt vom Meßsignal U_D abgeleitet werden. Der faktisch anhand des erfaßten ersten Drucks p_1 und des erfaßten zweiten

15

Drucks p_2 ermittelte Druckmeßwert X_p wird nunmehr auf den Strömungsmeßwert X_v normiert, also durch diesen dividiert: Es gilt also:

$$X_m = X_v / X_p.$$

20

Nach einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung ist zur Erzeugung des Druckmeßwert X_p eine Grenzfrequenz der Tiefpaß-Schaltung TP so eingestellt ist, daß die niedrigste zu erwartende Wirbelfrequenz und auch ggf. zu erwartende Störsignalfrequenzen aus dem zugeführten Meßsignal

herausgefiltert werden können und somit ausgangs der Tiefpaß-Schaltung TP

25

ein dem Verlauf des zeitlichen Mittelwert des Meßsignals im wesentlichen folgendes Drucksignal abgreifbar ist.

Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, daß als Druckmeßwert X_p

beispielsweise vom digitalisierten Meßsignal abgeleiteter Meßwert oder auch

30

eine, insb. abgetaste, Signalamplitude des analogen Drucksignals dienen kann. In entsprechender Weise kann der Strömungsmeßwert X_v z.B. auch ein von

einem zuvor gebildeten, sich mit der Wiederholfrequenz ändernden Frequenzmeßsignal abgetaster Meßwert sein.

5 Zu diesem Zweck ist nach einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung ferner vorgesehen, die beiden Meßkapazitäten C_{M1} , C_{M2} repräsentierende Meßspannungen U_{C1} , U_{C2} zu erzeugen und diese zumeist zueinander phasenverschobenen Meßspannungen U_{C1} , U_{C2} , wie auch in Fig. 7 gezeigt, mittels entsprechende Bandpässe BP1 bzw. BP2 einem Komparator COMP gefiltert zu zuführen, so daß dieser ausgangs eine binäre Rechteckspannung
10 mit einer der Wiederholfrequenz entsprechenden Signalfrequenz liefert. Die Rechteckspannung ist wiederum dem Mikrocomputers μP zugeführt und kann dort zur Ermittlung der Wiederholfrequenz weiterverarbeitet werden.

15 Insbesondere bei Verwendung des oben erwähnten Mikrocomputers können der Druckmeßwert oder auch Strömungsmeßwert in vorteilhafter Weise auch anhand einer Spektralanalyse des Druckdifferenzsignals, z.B. einer diskreten Fouriertransformation, ermittelt werden, wobei im Frequenzspektrum der Druckmeßwert dann einer Amplitude bei der Frequenz null entspricht.

PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zum Ermitteln eines Massendurchflusses eines in einer Rohrleitung strömenden Fluids, welches Verfahren folgende Schritte umfaßt:
- Erzeugen von, insb. Kármánschen, Wirbeln im strömenden Fluid mittels eines von Fluid umströmten Staukörpers (20) und Ermitteln einer Wiederholfrequenz mit der die Wirbel erzeugt werden,
 - Erzeugen eines Strömungsmeßwerts X_v , der einen Volumenstrom oder eine Strömungsgeschwindigkeit repräsentiert, anhand der ermittelten Wiederholfrequenz,
 - Erfassen eines im strömenden Fluid wirkenden ersten Drucks p_1 an einem ersten Meßpunkt (M_1) und eines im strömenden Fluid wirkenden zweiten Drucks p_2 an einem zweiten Meßpunkt (M_2),
 - wobei beide Meßpunkte (M_1 , M_2) in Strömungsrichtung voneinander beabstandet sind und
 - wobei unter Einwirkung der erzeugten Wirbel wenigstens einer der erfaßten Drücke p_1 , p_2 sich zumindest mit der Wiederholfrequenz periodisch ändert,
 - Erzeugen eines Druckmeßwerts X_p , der einen im zeitlichen Mittel zumindest anteilig in Strömungsrichtung wirkenden mittleren dynamischen Druck repräsentiert, unter Verwendung des erfaßten ersten Drucks p_1 und des erfaßten zweiten Drucks p_2 , sowie
 - Erzeugen eines den Massendurchfluß repräsentierenden Massendurchflußmeßwerts (X_m) unter Verwendung des Druckmeßwerts (X_p) und des Strömungsmeßwerts (X_v).
2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die Wiederholfrequenz mit der die Wirbel erzeugt werden anhand wenigstens eines der erfaßten Drücke p_1 , p_2 ermittelt wird.

3. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, bei dem wenigstens einer der Meßpunkte (M1, M2) am Staukörper (20) oder innerhalb desselben angeordnet ist.
- 5 4. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, bei dem zur Erzeugen des Druckmeßwerts eine Druckdifferenz zwischen den beiden örtlich erfaßten Drücken ermittelt wird.
- 10 5. Verfahren nach 3 und 4, bei dem zur Ermittlung der Druckdifferenz ein innerhalb des Staukörpers (20) angeordneter Differenzdrucksensor (30), insb. simultan, mit dem ersten und dem zweiten Druck p_1 , p_2 beaufschlagt wird.
- 15 6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, bei dem abgeleitet von den örtlich erfaßten Drücken p_1 , p_2 ein die Druckdifferenz repräsentierendes Druckdifferenzsignal (U_D) erzeugt wird.
7. Verfahren nach Anspruch 6, bei dem zur Erzeugung des Druckmeßwerts (X_p) das Druckdifferenzsignal (U_D) tiefpaßgefiltert wird.
- 20 8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, bei dem zur Erzeugung des Druckmeßwerts (X_p) das Druckdifferenzsignal (U_D) digitalisiert wird.
- 25 9. Verfahren nach nach einem der Ansprüche 6 bis 8, bei dem der Druckmeßwert (X_p) und/oder Strömungsmeßwert (X_v) anhand einer Spektralanalyse des Druckdifferenzsignals (U_D) ermittelt werden.
10. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, bei dem einer der örtlich erfaßten Drücke p_1 , p_2 ein in Strömungsrichtung wirkender totaler Druck und/oder ein im Fluid wirkender statischer Druck ist.

ZUSAMMENFASSUNG

Verfahren zum Ermitteln eines Massendurchflusses eines in einer Rohrleitung strömenden Fluids

- Beim vorgeschlagenen Verfahren werden mittels Staukörpers (20) im
- 5 strömenden Fluid Wirbel erzeugt und die Wiederholfrequenz ermittelt mit der die Wirbel erzeugt werden. Anhand der ermittelten Wiederholfrequenz wird ein Strömungsmeßwert (X_v) bestimmt, der einen Volumenstrom oder eine Strömungsgeschwindigkeit repräsentiert. Zusätzlich werden an zwei in Strömungsrichtung voneinander beabstandeten Meßpunkten (M_1 , M_2) im
- 10 strömenden Fluid wirkenden Drücke p_1 und p_2 erfaßt, von denen wenigstens einer sich zumindest mit der Wiederholfrequenz periodisch ändert. Unter Verwendung der erfaßten Drücke p_1 , p_2 wird ein Druckmeßwert X_p erzeugt, der einen im zeitlichen Mittel zumindest anteilig in Strömungsrichtung wirkenden mittleren dynamischen Druck repräsentiert. Mittels des Druckmeßwerts (X_p) und
- 15 des Strömungsmeßwerts (X_v) kann nunmehr ein Massendurchflußmeßwert (X_m) für das Fluid ermittelt werden.

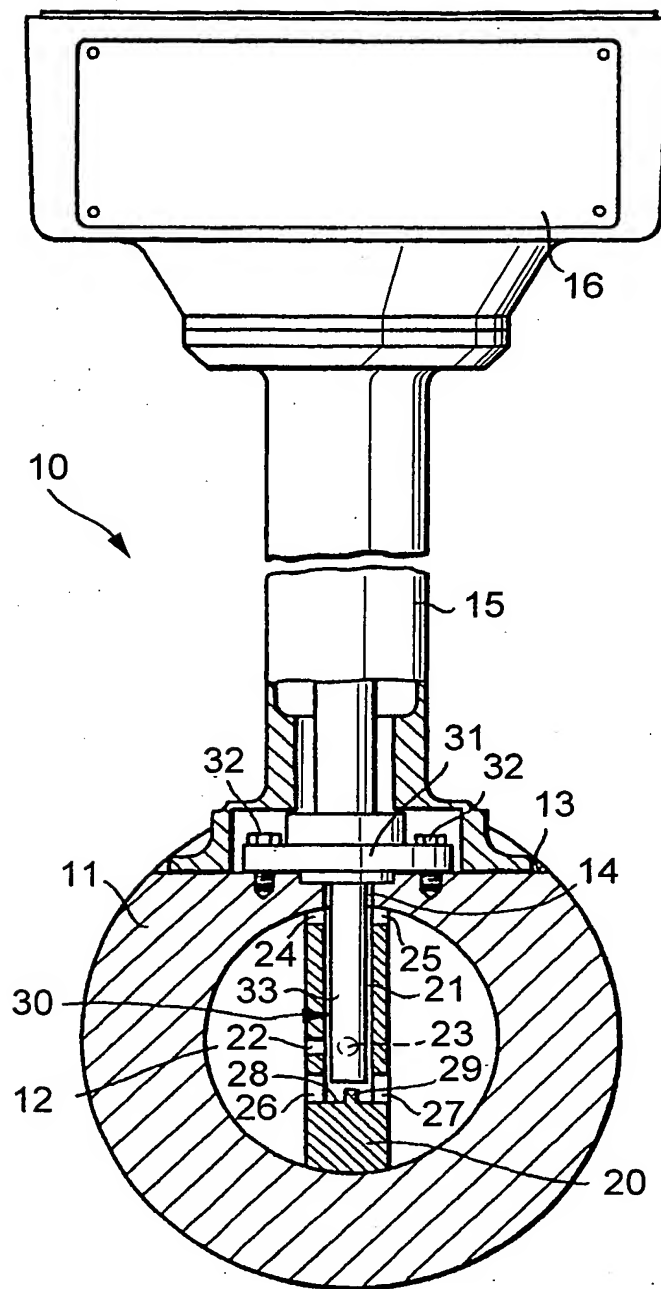


Fig. 1

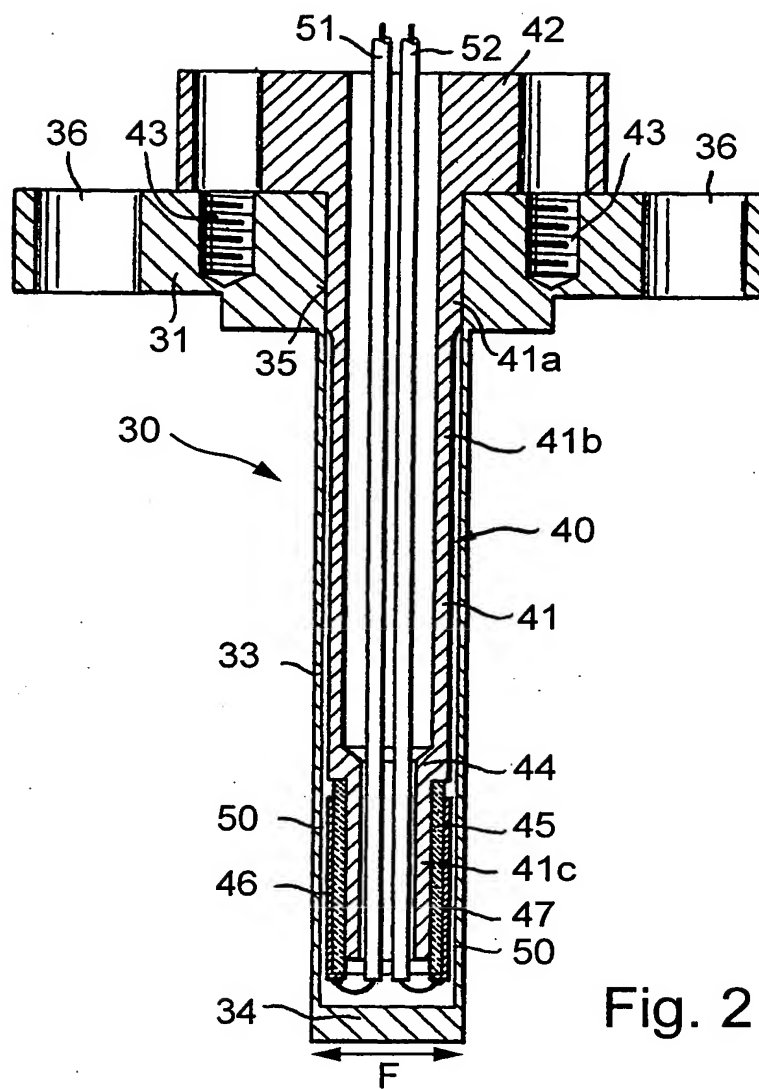


Fig. 2

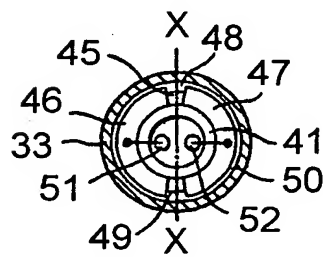


Fig. 3

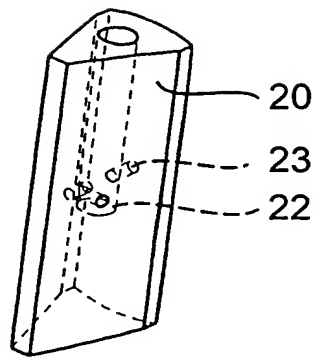


Fig. 4

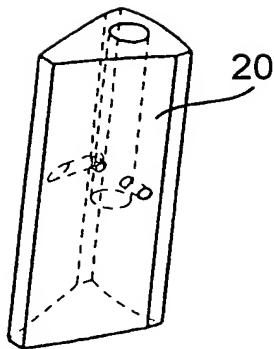
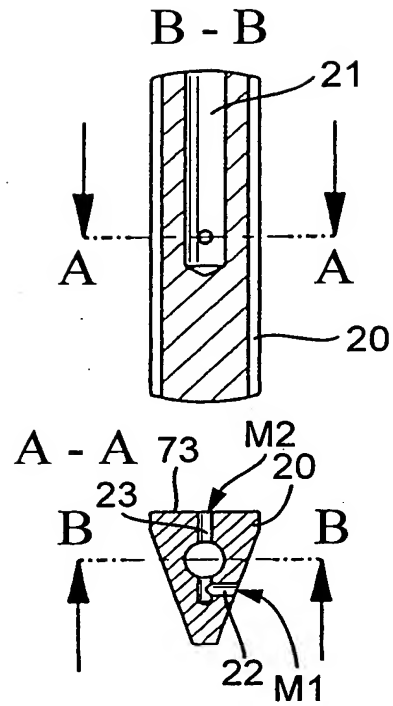
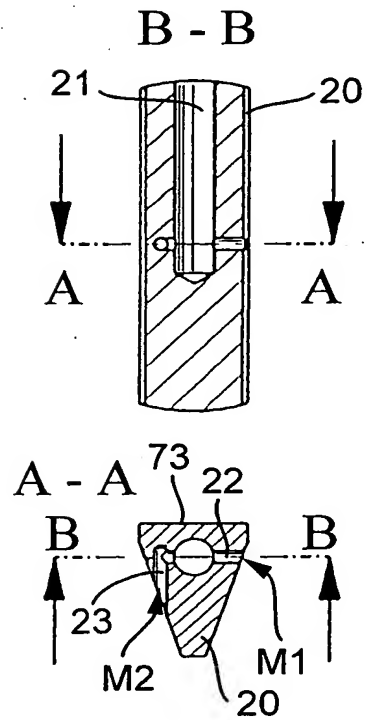


Fig. 5



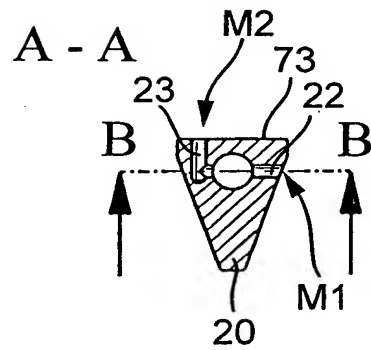
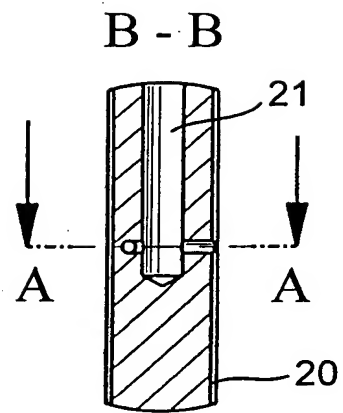
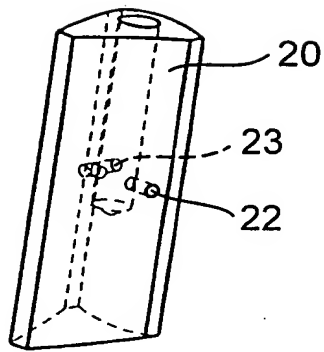


Fig. 6

5/5

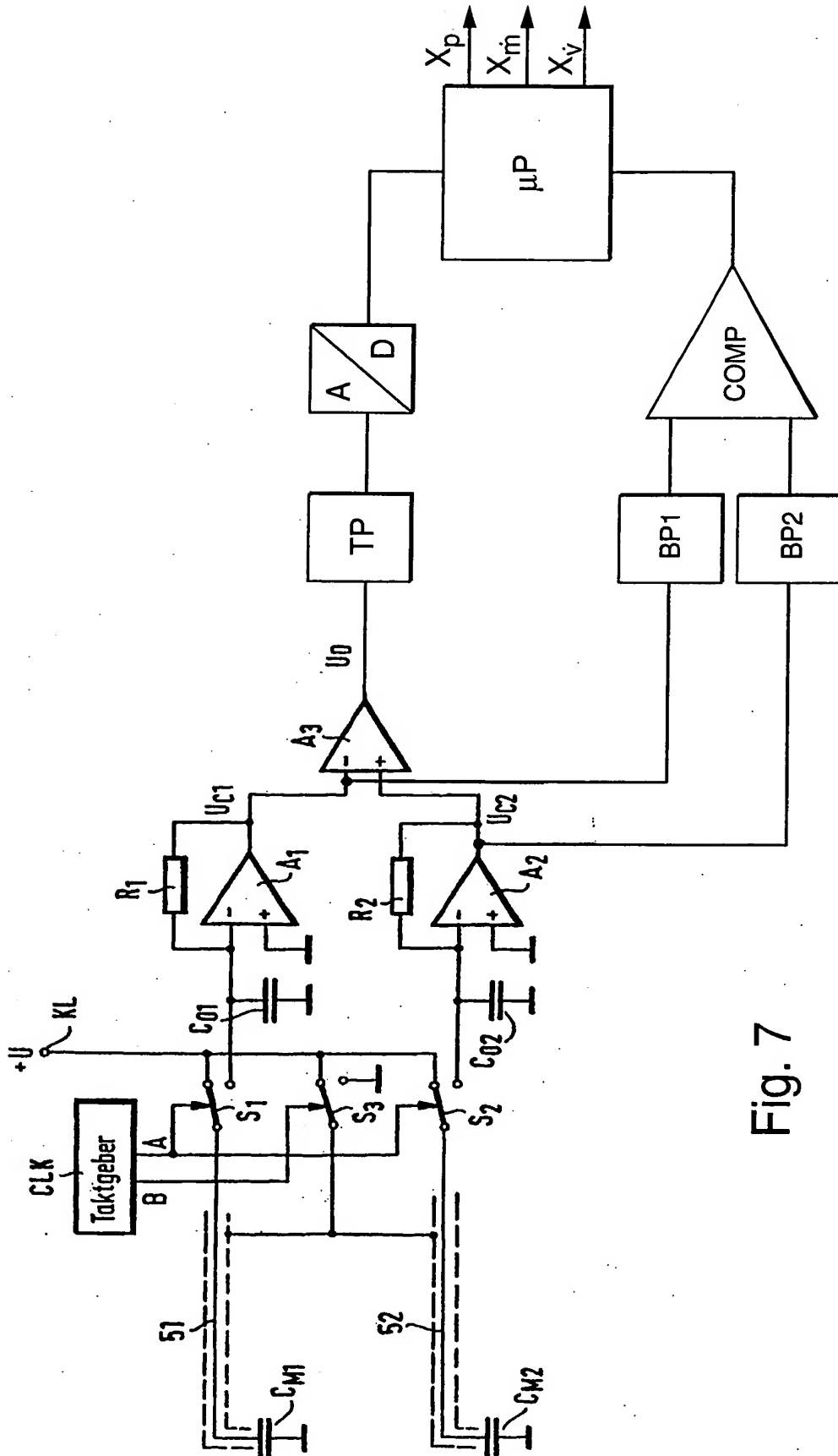


Fig. 7